



Klibbalens gödslingsseffekt på volymproduktionen i ett blandbestånd av gran och klibbal

- En simulering i Heureka

*The fertilization effect by common alder in reference to production in a mixed
stand consisting of Norway spruce and common alder*

- A simulation in Heureka



Therése Andersson och Ronja Jägbrant



Klibbalens gödslingseffekt på volymproduktionen i ett blandbestånd av gran och klibbal

- En simulering i Heureka

*The fertilization effect by common alder in reference to production in a mixed stand
consisting of Norway spruce and common alder*
– A simulation in Heureka

Therése Andersson & Ronja Jägbrant



Självständigt arbete 15 högskolepoäng
Fakulteten för skogsvetenskap

Umeå 2012

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet	Fakulteten för skogsvetenskap
Författare	Therése Andersson & Ronja Jägbrant
Titel	Klibbalens gödslingseffekt på volymproduktionen i ett blandbestånd av gran och klibbal
Nyckelord	Kväve, kvävefixering, blandskog, blandskogseffekt, <i>Picea abies</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , StandWise, biologisk gödsling
Handledare	Tommy Mörling, Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Examinator	Tommy Mörling, Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Kurstitel	Kandidatarbete i skogsvetenskap
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning av arbetet	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2012

Förord

Denna studie har genomförts som en del i jägmästarutbildningen på Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Studiens omfattning motsvarar 15 högskolepoäng och utfördes under vårterminen 2012.

Vi vill tacka vår handledare Tommy Mörling för vägledning samt Hampus Holmström för tålmodig och tydlig support i Heureka. Vi vill även tacka släkt och vänner för korrekturläsning och värdefulla synpunkter.

Sammanfattning

Ett sekundär- och ett pionjärträdslag kan med fördel ingå i ett blandbestånd för att öka resursutnyttjandet av bland annat solljus. Kvävefixerande växter har visat sig öka kvävetillgången i marken, bland annat genom förnämning. Nedfallet fungerar som biologisk gödsling, vilket kan komma icke kvävefixerande växter tillgodo. Klibbal är ett kvävefixerande pionjärträdslag som tappar sina kväverika blad sent på hösten. Syftet med denna studie var att undersöka effekten på den totala volymproduktionen, då olika andelar kvävefixerande klibbal ingick i ett granbestånd. Delmålet var att identifiera vid vilken ungefärlig procentandel klibbal som högst volymproduktion uppnåddes. I Heureka's StandWise simulerades ett blandbestånd bestående av olika andelar gran och klibbal (0 %, 30 %, 45 %, 60 % klibbal) med vardera tre olika skötselprogram (*ingen gallring, en gallring, två gallringar*). Resultaten visade att 30 % inblandning av klibbal gav den högsta totala volymproduktionen oberoende av vilket skötselprogram som användes. Detta indikerar att optimum antagligen ligger i närheten av detta värde. Medelvärde för kvävegivorna som tillfördes genom alförna i de olika simuleringarna varierade mellan 9 kg/ha/år och 19 kg/ha/år. Positiva sidoeffekter som tillkommer vid brukandet av denna typ av blandbestånd är ökat frostskydd och förhöjd stormtålighet för gran. Resultaten från denna studie skulle kunna utgöra en idé och inspirera till vidare forskning om hur blandskogar av denna typ kan anläggas och skötas.

Nyckelord: kväve, kvävefixering, blandskog, blandskogseffekt, *Picea abies*, *Alnus glutinosa*, StandWise, biologisk gödsling

Abstract

A secondary and a pioneer tree species can with advantage be included in a mixed stand to increase the use of sunlight. Nitrogen-fixing plants have been shown to increase the supply of nitrogen in the soil by, for example, litter fall. This deposition acts as a biological fertilization, which may be used by non-fixing plants. Alder is a nitrogen-fixing, pioneer tree species that loses its nitrogen-rich leaves late in the autumn. The aim of this study was to examine the effect on the total volume of production, when different proportions of nitrogen-fixing Alder were part of spruce stands. A second goal was to identify at which approximate proportion of Alder the highest volume production was achieved. In Heureka StandWise a mixed population consisting of various shares of spruce and alder (0%, 30%, 45%, 60%) with each three different management programs (no thinning, one thinning, two thinnings) were simulated. The results showed that 30% Alder, in the mixed stand, gave the highest total volume production regardless of the management program that was used. This may indicate that the optimum probably lies close to this value. The average amount of nitrogen in the simulations ranged between 9 to 19 kilogram per ha and year. Positive side-effects which follow this type of species mixture is increased frost protection and increased storm resistance for spruce. The results of this study could form an idea and inspire further research on how forests of this type can be established and managed.

Keywords: nitrogen, nitrogen-fixation, mixed forest, mixed forest effect, *Picea abies*, *Alnus glutinosa*, StandWise, biological fertilization

INLEDNING

Som alternativ till rena granplanteringar kan man anlägga blandbestånd, vilket kan ge ett flertal positiva effekter. Ewel (1986) & Kelty (1992) nämner som motiv för blandskogsbruk: fullt utnyttjande av resurser samt ökad motståndskraft mot sjukdomar, insektsutbrott, vind och andra abiotiska skador. Andra motiv är riskreduktion och kompenserande tillväxt (dvs. om en art ger efter för någon faktor så kan andra arter överleva och svara med ökad tillväxt), det estetiska perspektivet samt bevarande av inhemska djur och växter. En av de resurser som nyttjas på olika sätt av trädslagen är solljuset som används för fotosyntes. Med anledning av den aspekten kan träd delas in i två klasser, skuggtåliga och skuggkänsliga. I en blandskog kan därför med fördel en skuggtålig art utgöra undervegetation tillsammans med en skuggkänslig art som bildar det översta krontaket (Kelty, 1992).

Den resurs som är mest begränsande för tillväxten i Sveriges skogar är kväve (Rosen et al., 1992). Med hjälp av kvävegödsling skulle man kunna höja tillväxten på gran med ungefär 100-300% beroende på var i Sverige detta utförs (Bergh et al., 2005). Gödslingsförsök som gjorts på olika marker visar att effekten av gödslingen beror på skillnader i markens bördighet (Jacobson et al., 2005). Störst total gödslingseffekt på bestånd i Norrland, vid en gödselgiva på 150 kg kväve per hektar, påvisades hos en G24 (anger ett granbestånd som utifrån markens produktionsförmåga vid 100 års ålder förväntas inneha en övre höjd på 24 meter). Frekvent tillförsel av gödselmedel till en ung granskog har visat sig ge en ökning på 100 % av både höjd och diameter jämfört med ett ogödslat bestånd (Bergh et al., 1999). From (2010) fann i en undersökning att diametertillväxten hos granar som årligen gödslats med 12,5 kg N/ha/år ökade med nästan 12 %. För träd som gödslats med 50 kg N/ha/år, under lika lång tid, blev ökningen i diametertillväxt omkring 80 %. Slutsatsen i undersökningen var att årlig tillförsel av en mindre mängd kväve antagligen var något effektivare, med avseende på diametertillväxten, än att ge den sammanlagda mängden vid ett tillfälle.

Istället för konventionell gödsling är ett alternativ, som innebär kontinuerlig tillförsel av kväve och en minimering av merkostnad, att gödsla med växter. Huss-Danell (1988) nämner biologisk gödsling i form av kvävefixerande plantor som ett alternativ för att återställa degenererad skogsmark.

De flesta växter kan bara ta upp kväve i form av nitrat och ammonium. Biologisk kvävefixering kan dock göra det, för de flesta växter, oåtkomliga atmosfäriskt bundna kvävet tillgängligt för växterna. Detta sker genom att kvävefixerande bakterier ombildar luftens kvävgas till ammonium eller nitrat som direkt kan byggas in i växtens aminosyror (Magnusson, 2009). Vissa växter kan ingå symbios med dessa kvävefixerande bakterier, exempelvis mikrobiotet *Frankia* som bildar rotsymbios med al. Alrötterna skapar rotnölar där bakterierna får en skyddad livsmiljö samt näringsämnen från trädets fotosyntes. I utbyte får växten kväve i form av aminosyror. Kvävefixerande växter producerar, i och med detta, lövförna med ett högre kväveinnehåll än de flesta andra växter. Deras förnafall berikar marken med kväverikt material som kan komma andra arter till godo (Huss-Danell, 1988). Icke kvävefixerande arter som delar livsutrymme med kvävefixerande arter uppvisar ofta både högre kväveinnehåll och högre biomassaproduktion än i rena bestånd (Dawson, 1990 refererat i Roggy et al., 2004). På grund av deras höga kväveinnehåll i löven och rika produktion av lövförna, faktorer som förhöjer kväveinnehållet i träden omkring, är kvävefixerande arter lämpliga att ingå i blandbestånd. Genom att plantera icke kvävefixerande plantor tillsammans med kvävefixerande kan de förstnämnda få tillgång till fixerat kväve genom överföring (Roggy et al., 2004). Denna överföring kan ske direkt mellan rötter, genom mykorrhiza-

nätverk mellan plantor eller indirekt genom nedbrytning av rotnölar, rötter eller förna ovan mark (He et al., 2003, Roggy et al., 2004, Daudin & Sierra, 2008). Arnebrandt (1993) visade i ett försök hur kväve överfördes från kvävefixerande klibbal (*Alnus glutinosa*) till contortatall (*Pinus contorta*). Daudin & Sierra (1998) visade också att ett kvävefixerande träd bidrog med en avsevärd mängd näring till intillväxande gräs. Resultatet i studien visade att gräset föredrar att ta upp näring som kommer från trädet istället för att ta upp absorberat kväve i jorden. En möjlig förklaring som presenterades är att energikostnaden blir lägre på detta sätt. Närvaron av en kvävefixerare innebär dock inte automatiskt att kvävefixering sker (Bajnk et al., 1978 refererat i Bormann & Gordon, 1989). Al kan till exempel växa bra på jordar med tillräckliga mängder kvävesubstrat utan att fixera kväve. Graden av den kvävefixerande processen är dessutom relaterad till graden av fotosyntetisering hos växten (Gordon & Wheeler, 1978). Det innebär att det kvävefixerande trädslaget måste ha god tillgång på ljus.

Alsläktet tillhör i likhet med björkarna familjen *Betulaceae* och naturligt i Sverige finns arterna klibbal (*Alnus glutinosa*) och gråal (*Alnus incana*) (Rytter, 1998). Klibbalen växer på frisk till fuktig mark, men klarar också mycket blöta marker. Den trivs på såväl sandartade som leriga jordar, under förutsättning att det finns rörligt markvatten (Almgren, 1990). Klibbal är ett av de trädslag som kan fixera atmosfäriskt kväve via *Frankia*-bakterier (Johansson, 1999). Detta gör att den praktiskt taget är oberoende av kvävetillgången i marken. Klibbalens kväverika blad faller ovanligt sent på hösten (Hughes, 1971 & Vedel et al., 2002). Kvävetillförseln till beståndet gör också klibbal lämplig att blanda med andra trädslag (Almgren, 1990). Förmågan att fixera kväve är en förklaring till att den är ett framgångsrikt pionjärträdslag (Rytter, 1998). På grund av sina pionjärträdsegenskaper samt frostålighet är den passande som am- och skärmträd (Almgren, 1990). Klibbal är mindre viltbegärlig i jämförelse med framförallt asp, men även björk (Hjälten & Palo, 1992). Den har, i förhållande till björk, dessutom betydligt mindre risk att piska huvudträdslaget. (Almgren, 1990).

Gran utgör 41,9 % av virkesförrådet på produktiv skogsmark i Sverige (Institutionen för skoglig resurshushållning, 2011) och är ett så kallat sekundärträdslag, vilket innebär att den är skuggtålig och kan leva med en hämmad ungdomstillväxt under andra högre träd (Albrektson et al., 2008). Med avseende på granens frostkänslighet i plantstadiet och skuggtålighet kan den med fördel odlas tillsammans med ett pionjärträdslag som då istället är ljuskrävande, har snabb ungdomstillväxt och fungerar som frostskydd för granen (Albrektson et al., 2008, Rytter et al., 2008, Hallsby, 2009). Granen utvecklas bra på näringsrika marker med rörligt markvatten, där markvegetationen inte är sämre än bördig ristyp (Hallsby, 2009).

Få studier har gjorts på bestånd med trädslagsblandningen gran och klibbal men vid försök för att uppskatta ett rent klibbalsbestånds kvävetillförsel till marken har det visat sig variera mellan 12-30 kg/ha/år (Tarrant & Trappe, 1971). Chapman et al. (1988) jämförde ett rent granbestånd, ett rent albestånd och ett blandbestånd bestående av båda arterna. Studien visade att höjdtillväxten hos gran var högst i blandbeståndet medan höjdtillväxten hos al var högst i det rena albeståndet. Detta innebär att gran till skillnad från al tjänade på att ingå i blandbeståndet. Brady & Weil (2003) mätte kvävemineralisering, den process då organiskt bundet kväve omvandlas till ammonium, i förna bestående av alblad och granbarr. Resultaten visade att processens maximum försköts några veckor jämfört med ren förna av al. Trots detta var mängden frigjord ammonium under stora delar av försökstiden högre än förväntat (McTiernan, 1997). En liknande studie har dock påvisat att kvävemineraliseringen, i ett blandbestånd med al och gran, var lägre än förväntat (Chapman et al., 1988).

Syfte

Huvudsyftet med arbetet är att se om alens kvävefixering och tillförsel av kväverik förna till marken ger en produktionsökning i ett blandbestånd innehållande gran och klibbal. Delsyftet är att få en indikation på vid vilken andel klibbal högst total volymproduktion uppnås.

Tidigare forskning har visat att kvävefixerande trädslag har positiv inverkan på produktionstillväxten hos omgivande vegetation. En rimlig hypotes är därför att inblandning av klibbal ger produktionshöjande effekter på volymen i beståndet. Samtidigt kan det antas att andelen klibbal är avgörande.

Studiens resultat skulle kunna utgöra en idé om hur blandskogar av denna typ kan anläggas.

MATERIAL OCH METOD

För att undersöka hypotesen simulerades ett blandbestånd, innehållande gran och klibbal, i datorprogrammet StandWise (version 1.6). StandWise är en programvara utvecklad av Sveriges lantbruksuniversitet inom forskningsprogrammet Heureka. I programmet är det möjligt att göra beståndsvisa simuleringar med olika skötselprogram (röjning, gallring, gödsling, slutavverkning, föryngring m.m).

Avsikten var att skapa en fiktiv, kvävefattig och därigenom gödslingsvärd mark med så lågt SI som möjligt och med förhållanden som samtidigt uppfyller de krav som både gran och klibbal ställer på sin livsmiljö. Dessa krav på ståndortsanpassning hämtades ur "Det nordsvenska skogstypsschemat" (Arnborg, 1964) och tabeller från Skogsforsks redogörelse "Lövm- och lövblandbestånd – ekologi och skötsel" (Rytter, 1998). Tabellerna behandlar inte aspekter så som jordmån, jordart och vattnets rörlighet. Data baserad på ovan nämnda krav (bilaga 1) registrerades i StandWise (bilaga 2).

StandWise simulerar enbart femårsperioder (en period=fem år). För att uppskatta storleken på kvävegivan som skulle ges efter en period behövde alltså de årliga kvävegivorna, inom perioden, beräknas. Detta utifrån antagande att stamantal och medeldiameter förändras linjärt inom perioderna. Storleken på beståndet som simulerades var 1 ha.

Följande beräkningar utfördes i Microsoft Office Excel 2010. Den årliga kvävegivan från alarna i beståndet bestämdes genom att beräkna differensen mellan alarnas medeldiameter (medeldiam.) vid periodens slut (periodslut) och periodens början (periodstart). Differensen dividerades sedan med 5 för att beräkna den årliga variationen av medeldiametern (ekvation 1).

$$[1] \text{ medeldiam. årliga variation} = \frac{\text{medeldiam. vid periodslut} - \text{medeldiam. vid periodstart}}{5}$$

Samma sak gjordes även för stamantalet av klibbal i beståndet (ekvation 2).

$$[2] \text{ stamantalets årliga variation} = \frac{\text{stamantalet vid periodslut} - \text{stamantalet vid periodstart}}{5}$$

Variationen som beräknades ur ekvation 1 användes för att beräkna medeldiametern för vardera fem åren inom perioden (ekvation 3).

$$[3] \text{ medeldiameter vid } X = \text{medeldiam. vid periodstart} + \text{medeldiam. årliga variation} \times (X - 1)$$

$X = \text{året inom perioden}$

Variationen som beräknades ur ekvation 2 användes för att beräkna stamantalet för vardera fem åren inom perioden (ekvation 4).

$$[4] \text{ stamantalet vid } X = \text{stamantalet vid periodstart} + \text{stamantalets årliga variation} \times (X - 1)$$

De fem värdena på medeldiametern, från ekvation 3, sattes var och ett in i Johanssons (1999) biomassafunktion (ekvation 5). Detta för att beräkna lövbiomassan på medelstammen (med avseende på diametern) för vardera år inom perioden. b_0 och b_1 är konstanter.

$$[5] \quad B = b_0 \times D^{b_1}$$

$$b_0 = 0,000003$$

$$b_1 = 2,547045$$

$$B = \text{lövbiomassa (kg torrsvikt) / träd}$$

$$D = \text{stamdiameter (dm)}$$

Dessa fem värden på lövbiomassaproduktion, från ekvation 5, multiplicerades vart och ett med procentandelen kväve/bladsvikt för att beräkna den kvävemängd ett träd tillförde marken för respektive år inom perioden (ekvation 6). Som värde på procentandelen kväve/bladsvikt användes 1,92% vilket var taget från en studie om rödal, *Alnus rubra* (DeBell & Radwan, 1984)

$$[6] \quad \text{kvävegiva per medelstam} = B \times 0,0192$$

För att beräkna den årliga kvävegivan för beståndet (ekvation 7) multiplicerades kvävegivan per medelstam, för de olika åren, med stamantalet för samma år (ekvation 4).

$$[7] \quad \text{årlig kvävegiva för beståndet} = \text{kvävegiva per medelstam} \times \text{stamantalet vid } X$$

Summan av de årliga kvävegivorna utgjorde sedan den mängd kväve som sedan tillfördes i Heureka. Det sista värdet i en period är detsamma som det första värdet i nästkommande period därför uteslöt detta i samtliga summeringar av de årliga kvävegivorna, förutom mellan period 0 och 1.

StandWise tillåter gödsling endast vart tionde år varför två perioders kvävegivor summerades.

I StandWise testades simuleringar med andelarna 0 %, 30 %, 45 % och 60 % inblandning av klibbal. Denna inblandning avser stamantal. För att simulera tillförseln av kväve som klibbalen ger beståndet användes gödslingsfunktionen i programmet. Al finns inte med som ett eget trädslag i StandWise. Därför användes inställningen ”övrigt löv” istället.

I blandskog av gran och al rekommenderar Johansson (2003) att plantera 1000 al och 2000–2500 granar per ha. Rytter et al. (2008) och Skogforsk (2004) rekommenderar ett plantantal för klibbal på 2500 plantor per ha och för gran på G24, 2000-2500 plantor per ha.

Utgångspunkten var att bestånden planterats med 3000 plantor, men simuleringarna i StandWise startade, efter tänkt röjning, med ett stamantal på 1900 stammar/ha. Starthöjden i simuleringarna var 5 meter för granarna och 8 meter för alarna. Startdiametern beräknades automatiskt av StandWise och beståndet var vid detta tillfälle ca 20 år. För varje procentandel klibbal testades tre olika skötselprogram, *ingen gallring*, *en gallring* och *två gallringar*. Tidpunkt för gallringarna bestämdes utifrån en elektronisk gallringsmall avsedd för en G24 i norra Sverige (Skogforsk, 2012). Volym och stamantal utlästes då de olika beståndens medeltillväxt kulminerade. Uttaget i samtliga gallringar var 35 %.

Tabell 1. Ändrade inställningar i StandWise.**Table 1.** *Changed settings in StandWise.*

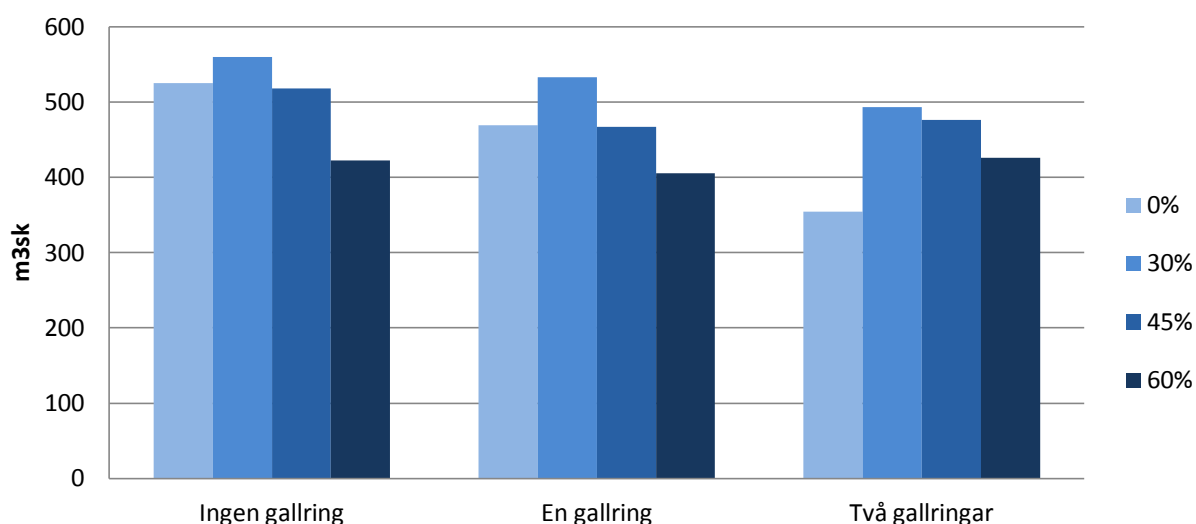
Control table		
<i>Treatment model</i>	3. Fertilization	<i>Fertilization amount = uträknat värde/calculated value</i> <i>Min conifer proportion = 10</i>
<i>Production model</i>	1. Growth and yield 3. Regeneration	<i>Height threshold young/mature = 5</i> <i>Ingrowth model = none</i> <i>Skip ingrowth step 1 = true</i>
<i>Performance</i>	1. Program generation performance	<i>Max number of predictions = 40</i>
Huvudmenyn		
<i>Åtgärd</i>	Planeringshorisont...	<i>Max antal perioder = 21</i>

Avgränsningar

I denna studie togs enbart hänsyn till det kväve som tillförs från lövförrådet (lövbiomassa). De andelar klibbal i beståndet som undersöktes var enbart 0 %, 30 %, 45 % och 60 %. Endast ett värde på kväveinnehållet i alblad användes under hela omloppstiden. Inväxningsfunktionen i StandWise inkluderades ej. I denna studie bortsågs från de ekonomiska aspekterna. Målet var enbart att undersöka hur den totala volymproduktionen påverkades av inblandning av klibbal.

RESULTAT

Den högsta totala volymproduktionen mätt vid medeltillväxtens kulmination (figur 1) gavs i samtliga simuleringar (*ingen gallring*, *en gallring* och *två gallringar*) vid 30 % inblandning av klibbal i blandbeståndet. Blandbestånden med 30 % al gav en merproduktion i jämförelse med de rena granbestånden (0 % al) i samtliga simuleringar. Ökningen var vid skötselprogram *ingen gallring* 35 m³sk, *en gallring* 64 m³sk samt *två gallringar* 138 m³sk.

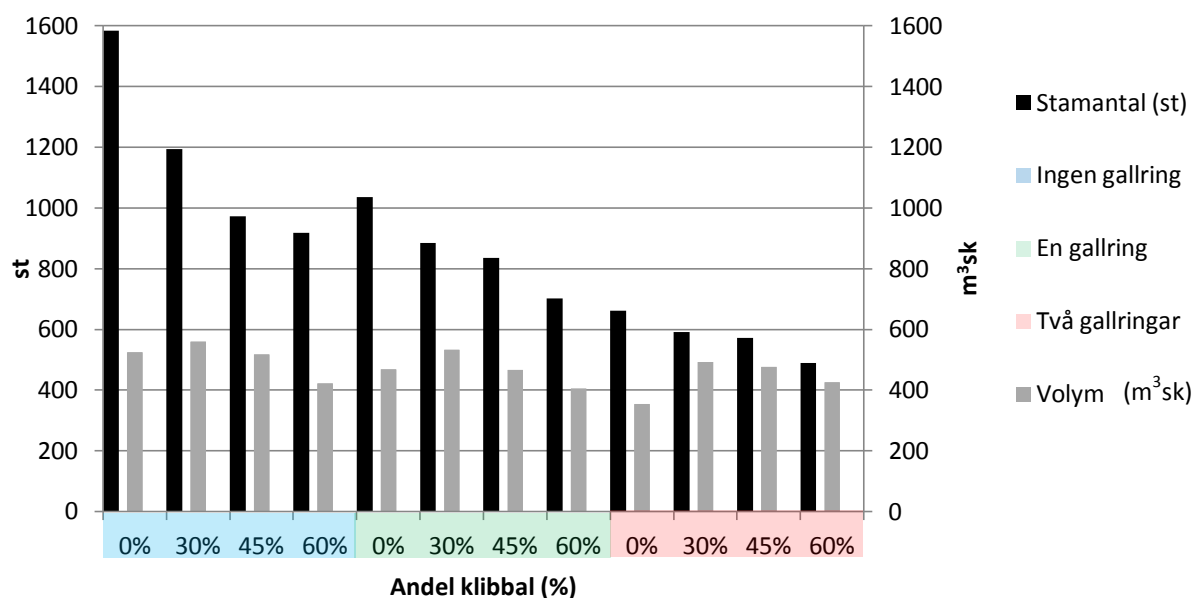


Figur 1. Totala volymproduktionen, vid medeltillväxtens kulmination i olika skötselprogram, i ett blandbestånd innehållande klibbal och gran. Procentandelen visar inblandningen av klibbal.

Figure 1. The total volume production at the culmination of the mean growth in different management programs (no thinning, one thinning and two thinning) in a stand consisting of common alder and Norway spruce. Percentage of featured common alder is shown in the figure.

På grund av mortalitetsfunktionen i StandWise avvek, under simuleringarna, andelen klibbal ifrån de värden som var avsedda. Vid avsett värde 30 % blev variationen i simuleringen 27,8-30 %. Avsedd inblandning av 45 % klibbal gav variation mellan 42,4 och 45 %. För simuleringen med 60 % varierade den faktiska andelen mellan 58,0 och 60 %.

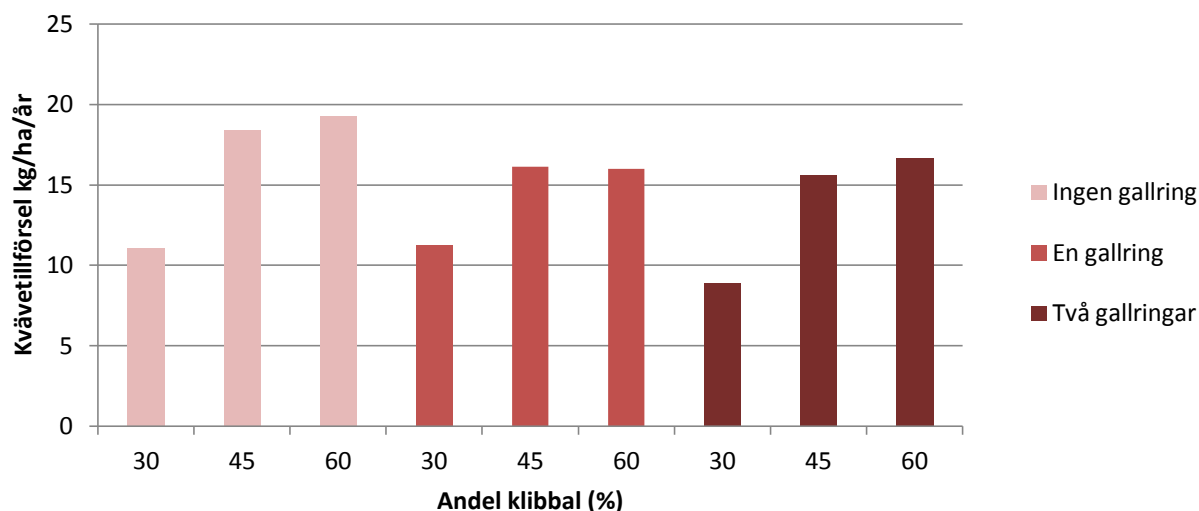
Trots samma skötselprogram (*ingen gallring*, *en gallring* eller *två gallringar*) fanns en variation av stamantalet mellan de olika klibbalsandelarna (30 %, 45 %, 60 %). Denna variation påvisas extra tydligt i skötselprogrammet ”ingen gallring”. Volymen följer dock inte samma tydliga mönster (figur 2).



Figur 2. Totala volymproduktionen och totala stamantalet vid medeltillväxtens kulmination i tre olika skötselprogram.

Figure 2. The total volume production and the total number of stems at the culmination of the mean growth in three different management programs.

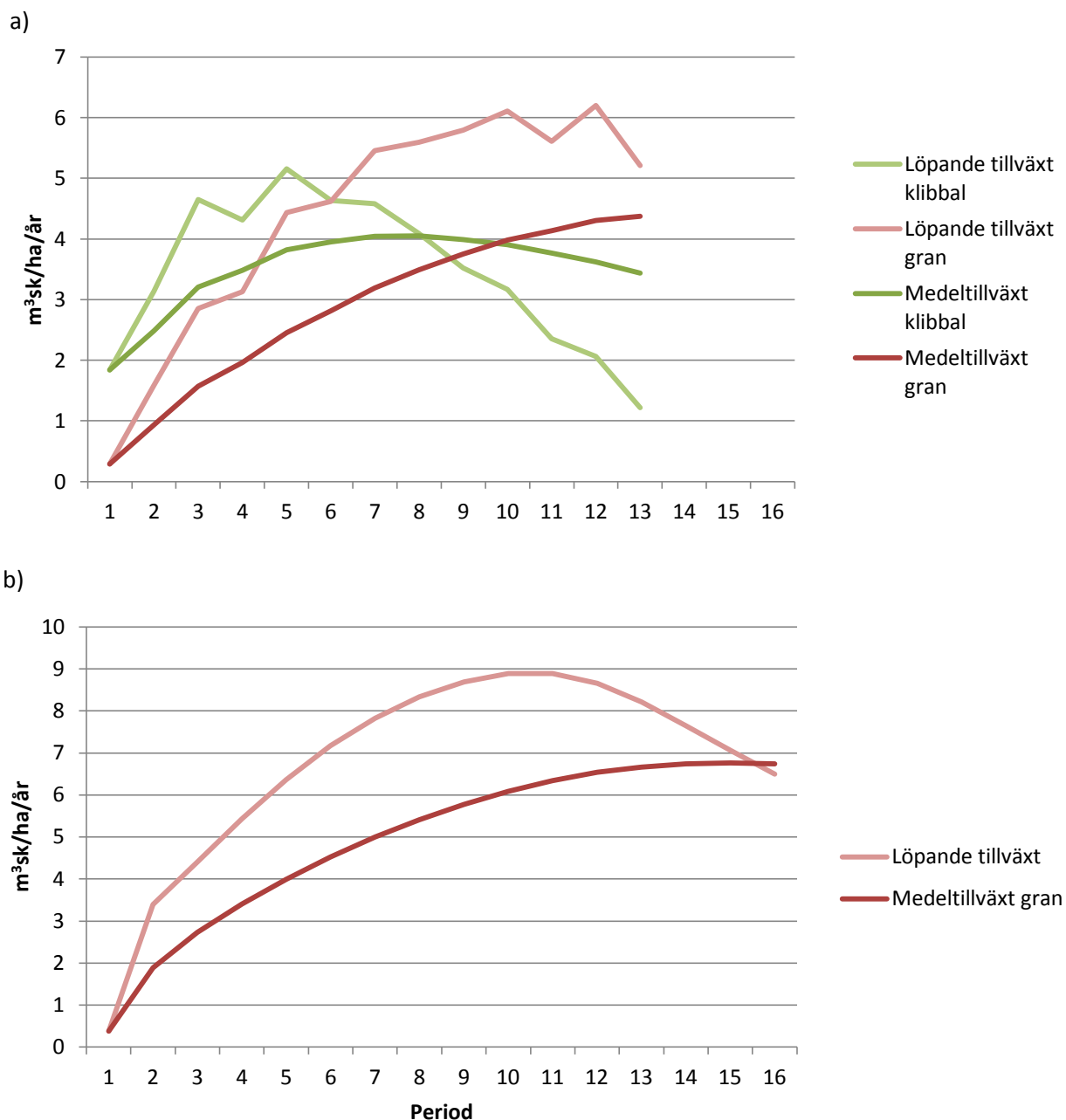
Kvävegivorna vid de olika perioderna varierade beroende på klibbalens stamantal och medeldiameter i beståndet. Den totala kvävegivan, under en omloppstid, varierade även med omloppstidens längd vilket innebar att medelgivan blev olika stor i de olika simuleringarna (figur 3). Eftersom simuleringarna avslutades vid medeltillväxtens kulmination blev omloppstiderna olika långa. Variationen var 72-103 år.



Figur 3. Det kväve som klibbalen tillför beståndet (kg/ha/år) beräknat på en omloppstid.

Figure 3. The nitrogen added to the stand by common alder (kg/ha/yr) during a rotation period in different management programs.

Klibbalens medeltillväxt kulminerar i samtliga simuleringar tidigare än granens.



Figur 4. Ett exempel på hur klibbalens medeltillväxt kulminerar tidigare än granens (a). Skötselprogram: klibbal 45 %, inga gallringar. Granens tillväxtmönster i ett rent, ogallrat granbestånd (b). Inget kväve har tillförts. En period motsvaras av 5 år.

Figure 4. An example showing how culmination of the mean growth occurs earlier in common alder than in Norway spruce (a). Management program: 45% common alder, no thinning. The growth pattern in an unthinned spruce stand (0 % alder) (b). No nitrogen has been added. One period equals 5 years.

DISKUSSION

Syftet med studien var att undersöka om klibbal tillsammans med gran kunde höja den totala volymproduktionen i studiens fiktiva bestånd och i så fall hur stor inblandning av klibbal som behövdes. Resultaten visar att inblandning av 30 % klibbal gav den högsta totala volymproduktionen i beståndet. Detta oberoende av vilket skötselprogram som användes. Det kan dock inte uteslutas att optimum finns vid någon annan andel inom intervallet 1-44%. Trots att den högsta volymproduktionen gavs vid 30 % klibbal innebar det dock inte att den största årliga kvävegivan gavs vid motsvarande andel. Vid högre alinblandning än 30% räcker inte det ytterligare, med albladen tillförda, kvävet för att kompensera för alens lägre tillväxt. Johansson (2003) föreslår också, vid skötsel av blandbestånd bestående av gran och al, att ha ungefär 30 % inblandning av al. I denna rekommendation är det osäkert om kvävefixeringsaspekten är inräknad, men det är ändå en anvisning som överensstämmer med vårt resultat. Vid de tolv simuleringarnas slut (medeltillväxtens kulmination i beståndet) fanns varierande antal stammar kvar i beståndet. Antalet varierade mellan 489-1584 stammar. Variationen visade sig inte vara den enda avgörande faktorn för volymproduktionen i beståndet (figur 2) då stamantalet varierar betydligt mer än volymproduktionen. Medeldiametern var då något högre och medelhöjden något lägre i de bestånd med färre antal stammar/ha. Simuleringarna med skötselprogram *två gallringar* uppvisade en annan inbördes rangordning på volymproduktionen än de andra två skötselprogrammen. Inblandning av 0 % klibbal med skötselprogram *två gallringar* gav den lägsta volymproduktionen. Vid samma andel i de andra två skötselprogrammen uppvisade 0 % klibbal den näst bästa volymproduktionen. Det bör poängteras att gallringsmallen endast är avsedd för gran. Att vi använt den för ett blandbestånd av gran och klibbal innebär därför en felkälla.

Den årliga medeltillförseln av kväve som nådde marken via klibbalsförna varierade i våra simuleringar mellan 9-19 kg/ha/år. Detta ligger något i underkant i jämförelse med tidigare, emellertid osäkra, uppskattningar som varierar mellan 12-30 kg/ha/år (Tarrant & Trappe, 1971). Dock ska poängteras att denna forskning förmodligen är baserad på rena albestånd (100 % al) och upprepningsfrekvensen av försöken är oklar.

Granen uppvisade skilda tillväxtmönster beroende på om kvävetillförsel via lövförna utfördes eller inte. I enlighet med andra studier (Bergh et al., 2005) kan man i det gödslade beståndet utläsa hur gödslingen påverkade tillväxtkurvan positivt. Det, i jämförelse med figur 4b, varierande mönstret på tillväxten hos granen visar att den påverkas de följande fem åren (följande perioden) efter att kvävegivan tillförts (figur 4a).

Tanken med den fiktiva marken som simuleringarna utgick ifrån, var att den skulle ha så pass låg produktionspotential att kvävetillförsel skulle ge en märkbar positiv effekt. G23 blev då det lägsta ståndortsindex som var godtagbart eftersom marken samtidigt skulle tillgodose acceptabla levnadsförhållanden för både gran och klibbal. Det SI som marken fick i StandWise (bilaga 1), stämmer bra överens med den mark som i studier visat störst effekt av gödsling, vilket är G24 (Jacobson et al., 2005). Att plantera al och gran på en sådan mark skulle därmed kunna ge en positiv volymtillväxt då granen antagligen kan tillgodogöra sig kvävet på ett bra sätt. Anläggning av blandskogar innehållande al och gran är inte vanligt men dessa arter kan blandas genom naturlig förnygring (Johansson, 2003).

I Heureka definieras inte klibbal, eller ens al, som ett eget trädslag. Det innebar att vi fick använda kategorin "Other broadleaf". I denna kategori ingick klibbal och den var därför det närmaste alternativet. Eftersom klibbal är ett pionjärträdslag bör dess tillväxtkurva visa en

brantare lutning de första åren innan medelvuxten kulminerar. Granen, som är ett sekundärträdslag, bör ha en mer uthållig tillväxt och senare kulmination av medeltillväxten. Detta förhållande syntes mer eller mindre tydligt i de olika körningarna och därav kan man dra slutsatsen att "Other broadleaf" har tillväxtmönster jämförbara med klibbalens. Ett exempel på detta visas i figur 4a.

För att säkra att alen som pionjärträd skulle få tillgång till ljus för sin fotosyntes, då kvävefixeringen är fotosyntesberoende, startades simuleringarna alltid med granar på 5 meters höjd och alar på 8 meters höjd. På detta sätt undvek vi också den, i Heureka något osäkra ungskogsfasen (Holmström, 2012).

För att räkna ut kvävegivan användes, bland annat, andelen kväve i ett rödalsblad (Debell & Radwan, 1984). För att få ett så rättvisande värde som möjligt valdes, från en studie gjord på bestånd med olika åldersfördelningar (9-45 år), ett givet medelvärde på kväveinnehållet i ett rödalsblad. Detta på grund av att kväveinnehållet varierar med trädets ålder. Bredden i åldersunderlaget bör ha gett oss ett förhållandevis rimligt värde att jämföra med vårt bestånd som i simuleringen blev mellan 72 och 103 år. Liknande studier är gjorda på klibbal men då vid enbart ett tillfälle och förändringen av kvävehalten över en omloppstid saknas. Rödal har liknande ståndortskrav som klibbal men liknar gråal mer i ungdomsfasen då den växer mycket snabbt (Deal & Harrington, 2006). En sammanställning av studier som gjorts visar att kväveinnehållet varierar mellan 2,17 och 2,5 % av torrsvikt hos rödal respektive 2,57 och 2,8 % hos klibbal (Tarrant & Trappe, 1971). Det är dock oklart vid vilka åldrar detta gäller eller hur många upprepningar som gjorts i studierna. Jämfört med detta är den mängd som använts i simuleringarna relativt låg.

Att valet föll på klibbal istället för gråal var inte självklart. Det finns inga studier som framhåller den ena arten som mer passande att ingå i ett blandbestånd med gran. Alarnas maximala produktion är ungefär den samma men ståndortskraven skiljer sig åt. Gråal kan, till skillnad från klibbal, växa på magra och torra marker men trivs bäst på fuktiga och näringsrika marker. Vi valde klibbal för denna studie då dess ståndortskrav överensstämmer bättre med gran (bilaga 2).

Studien begränsades till att endast ta hänsyn till kvävetillförseln från bladen. Rötter och de knölar som fixerar kväve bryts emellertid också ned och har vid analyser visat sig vara kväverika (Tarrant & Trappe, 1971). Det kan därför antas att mer kväve omsätts och kommer träden till godo än vad som beräknats i vår studie. I studien bortses även från det kväve som skulle ha tillförts under perioden mellan plantering och ungskogsfasen (då simuleringarna startades). Detta antar vi utjämnas av att andelen kväve på 1,92 % används under hela omloppstiden. Mängden kvävefixering är fotosyntesberoende och bör minska procentuellt när beståndet åldras och sluts och granarna växer förbi alarna. Men då kväveinnehållet procentuellt är större i unga blad än i gamla (Debell & Radwan, 1984) räknades i studien med att detta utjämnas.

De felkällor i simuleringarna som berott på begränsningar i StandWise är att gödsling i programmet endast får ske vart tionde år, vilket gör att effekten av årlig tillförsel förloras något. Vi antar därför att beståndet beter sig annorlunda än om tillförsel av mindre doser skett årligen. I praktiken kan man dessutom välja vilka individer som ska röjas och gallras, för att påverka volymtillväxten och framför allt kvaliteten. Det skulle i praktiken dessutom vara möjligt att påverka överlevnad och produktion genom att välja rätt proveniens på sitt plantmaterial. Ytterligare en felkälla som är ofrånkomlig vid simulering i StandWise är att det

tillförda kvävet även nyttjas av alarna. Detta skulle på denna relativt näringsfattiga mark inte skett i samma utsträckning i ett verkligt bestånd eftersom alarna på en näringsfattig mark nyttjar atmosfäriskt kväve (Bajnk et al., 1978 genom Bernard T. Bormann and John C. Gordon, 1989). Detta innebär att granarna skulle ha större möjlighet att nyttja mer kväve i ett reellt bestånd än i simuleringen. Vår bristande kunskap, i Heureka, är också en trolig felkälla.

Efter gödsling byggs biomassan snabbt ut och träden får förhöjd tyngdpunkt och tyngre, mer tätvuxna kronor till följd. I och med detta ökar risken för vindskador, framför allt de närmaste åren efter gödslingstillfället (Laiho, 1989 refererat i Fahlvik et al., 2009). Genom att kontinuerligt tillföra en mindre dos kväve, kan man anta att risken för vindskador reduceras då biomassan inte ökar lika kraftigt under kort tid.

Vissa klimatscenarion kännetecknas bland annat av ökad medeltemperatur och vädersituationer som uppträder oftare och mer extremt än vanligt, som exempelvis stormar (Solomon et al., 2007). Enligt Valinger och Fridman (2011) minskas risken för stormskador med 50 % om ett granbestånd innehåller 25-30 % löv. I och med kommande, förutspådda klimatförändringar (Solomon et al., 2007) kan alens lämpliga ståndorter möjligtvis komma att utökas och skötseln i framtiden intensifieras. Andra fördelar med ett blandbestånd bestående av al och gran är att al i praktiken skyddar gran mot frost samt att den är mindre viltbegärlig än många andra svenska trädslag.

Överlag betalas det sämre för al än för gran (Södra, 2012). Alens röda virke gör den i nuläget inte lämplig som massaved. Skulle en skonsam blekningsmetod komma att utvecklas är det dock möjligt att intresset för alvirke ökar, då det egentligen är mycket passande som massaved (Rytter, 1998). Avkommeförsök med klibbal i södra Sverige indikerar att det även finns mycket goda utvecklingsmöjligheter att förbättra föryngringsmaterial av klibbal genom förädling (Stener, 2007).

Bland de 16 svenska miljömålen utformade av riksdag och regering ingår ”Ett rikt djur- och växtliv”. Enligt Felton m.fl. (2010) är det förväntade resultatet ökad biologisk mångfald då ett rent granbestånd ersätts med ett blandbestånd av gran och björk i en brukad skog i södra Sverige. Det är därför ett rimligt antagande att en blandskog bestående av al och gran också medför en positiv inverkan på den biologiska mångfalden.

Enligt kriterium 6.3.8SA i FSC:s skogsbruksstandard (2010) ska skogsbrukare ”planera och genomföra skogsbruksåtgärder så att lövträd, där naturliga förhållanden så medger, utgör minst 10 % av volymen (5 % i området norr om Limes Norrlandicus) vid föryngringsavverkning...”. FSC-certifierade skogsägare har också ett mål att i framtiden nå upp till en inblandning av löv på 20 %. Att bruka en blandskog med proportionerna 70 % gran och 30 % klibbal uppfyller dessa krav med god marginal och skulle då kunna vara ett naturligt och produktivt alternativ för att uppnå målen. På senare år har stort fokus lagts på bland annat industriens miljöpåverkan av dess produktion. Tillverkning av konstgödsel innebär utnyttjande av fossila resurser (Börjesson et al., 2008). Biologisk gödsling med al är ett miljövänligt alternativ.

Möjlig vidareutveckling av denna studie är att testa fler simuleringar i StandWise med procentandelar runt trettio procents inblandning samt att anlägga liknande praktiska försök av gran- och klibbalsskog. Ytterligare ett förslag är att undersöka ekonomin i blandbestånd som dessa. Klibbalen kompenserar i total volymtillväxt men det är oklart om nuvärdet indikerar att skötselalternativet är positivt även ur ekonomisk synvinkel.

Om resultatet vi fått enbart är knutet till det kväve som tillförts av klibbalen, eller om det delvis beror på blandskogseffekt, är svårt att avgöra. Enligt tillväxtkurvorna (figur 4a) syns en effekt av gödslingen men en effekt av inblandningen kan inte uteslutas. De positiva effekter som blandskog ger (Ewel, 1986; Kelty, 1992) tar StandWise antagligen inte hänsyn till i sina modeller.

För att underlätta simuleringar av denna typ, skulle StandWise kunna utvecklas enligt följande förslag: att ”klibbal” görs till ett eget trädslag med tillhörande tillväxtfunktioner samt att man kan gödsla och utläsa beståndets förändring årligen.

Slutsats

Slutsatsen av studien är att det finns en positiv effekt på volymproduktion i ett blandbestånd bestående av klibbal och gran och att den effektens maximum ges runt en inblandning av 30 % klibbal. Men för att få ett säkrare resultat bör fältförsök anläggas för att bland annat se påverkan av abiotiska faktorer.

REFERENSER

Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. (2008) Skogsskötselns grunder och samband. Skogsskötselserien del 1. [online] Tillgänglig: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien [2012-04-20]

Almgren, G. (1990) *Lövskog – Björk, asp och al i skogsbruk och naturvård*. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Arnebrant, K., Ek, H., Finlay R. D. & Söderström, B. (1993) Nitrogen Translocation between *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Seedlings Inoculated with *Frankia* sp. and *Pinus contorta* Doug. ex Loud Seedlings Connected by a Common Ectomycorrhizal Mycelium. *New Phytologist* 124: 2, 231-242.

Bergh, J., Linder, S. & Bergström, J. (2005) Potential production of Norway spruce in Sweden. *Forest ecology management*. 204: 1-10.

Bergh, J., Linder, S., Lundmark, T. & Elfving, B. (1999) The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. *Forest Ecology and Management*. 119: 51-26.

Bormann, B.T. & Gordon, J.C. (1989) Can intensively managed forest ecosystems be self-sufficient in nitrogen? *Forest ecology and management*. 29: 95-103.

Brady, N.C & Weil, R.R. (2002) *The nature and properties of soils*. 13 ed. New Jersey: Pearson education

Börjesson, P., Ericsson, K., Di Lucia, L., Nilsson, L.J. & Åhman, M. (2008) *Hållbara drivmedel – finns de?* Lund: Lunds universitet. Rapport nr 66.

Chapman, K., Whittaker, J.B. & Heal, O.W. (1988) Metabolic and faunal activity in litters of tree mixtures compared with pure stands. *Agriculture, ecosystems and environment*. 24: 33-40.

Daudin, D. & Sierra, J. (2008) Spatial and temporal variation of below-ground N transfer from a leguminous tree to an associated grass in an agroforestry system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126, 275–280.

Deal, R.L. & C.A. Harrington, eds. (2006) Red alder—a state of knowledge. General Technical Report PNW-GTR-669. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station. 150 p.

Debell, D.S. & Radwan, M.A. (1984) Foliar chemical concentrations in red alder stands of various age. *Plant and Soil* 77. 391-394.

Enriquez, S., Duarte, C.M. & Sand-Jensen, K. (1993) Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content. *Oecologia*. 94: 457-471

Ewel, J. (1986) Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17:245-71.

Fahlvik, N., Johansson, U & Nilsson, U. (2009) *Skogsskötsel för ökad tillväxt. Faktaunderlag till MINT-utredningen*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. ISBN 978-91-86197-43-8.

From, F. (2010) Increased growth in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) through small annual additions of nitrogen (N) fertilizer. Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi. SLU

FSC. Svensk skogsbruksstandard enligt FSC med SLIMF-indikatorer. V2-1 050510. [online] Tillgänglig: http://www.fsc-sverige.org/images/dokument/fsc_fm_swe_v2-1.pdf [2012-04-16]

Gordon, J. & Wheeler, T. (1977) Whole plant studies on photosynthesis and acetylene reduction in *Alnus glutinosa*. *New Phytol.* 80: 179-186.

Hallsby, G. (2009) Plantering av barrträd. Skogsskötselserien del 1. [online] Tillgänglig: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien [2012-04-20]

He, X-H., Critchley, C. & Bledsoe, C. (2003) Nitrogen Transfer Within and Between Plants Through Common Mycorrhizal Networks (CMNs), *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22:6, 531-567.

Hjältén, J. & Palo, T. (1992) Selection of deciduous trees by free ranging voles and hares in relation to plant chemistry. *Oikos*. 63: 477-484.

Holmström, H. Analytiker, skoglig planering och teknologi, Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. Telefonsamtal 2012-03-27.

Hughes, M.K. (1971) Tree biocontent, net production and litter fall in a deciduous woodland. *Oikos*. 22(1): 62-73.

Huss-Danell, K. & Lundmark, J-E. (1988) Growth of nitrogen-fixing *Alnus incana* and *Lupinus* spp. for restoration of degenerated forest soil in northern Sweden. *Studia Forestalia Suecica*. No. 181.

Institutionen för skoglig resurshushållning. (2011) Skogsdata 2011. [online] Tillgänglig: http://pub.epsilon.slu.se/8333/1/Skogsdata2011_web.pdf [2012-04-16]

Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L. & Sikström, U. (2005) Skogsgödsling – en handledning från Skogforsk

Johansson, T. (1999) Dry matter amounts and increment in 21- to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications. *Can. J. For. Res.* 29: 1679–1690.

Johansson, T. (2003) Mixed stands in Nordic countries – a challenge for the future. *Biomass and Bioenergy*. 24: 365-372.

Kelty, M. (1992) Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands. *The Ecology and Silviculture of Mixed-Species Forests*. 125-141.

- Magnusson, T. (2009) Skogsbruk - mark och vatten. Skogsskötselserien del 3. [online] Tillgänglig: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien [2012-04-20]
- McTiernan, K.B., Ineson, P. & Coward, P.A. (1997) Respiration and nutrient release from tree leaf litter mixture. *Oikos*. 78: 527-538.
- Roggy, J. C., Moiroud, A., Lensi, R. & Domenach A. M. (2004) Estimating N transfers between N₂-fixing actinorhizal species and the non-N₂-fixing *Prunus avium* under partially controlled conditions. *Biol Fertil Soils* 39: 312–319.
- Rosen, K., Gundersen, P., Tegnhammar, L., Johansson, M. & Frogner, T. (1992). Nitrogen enrichment of Nordic forest ecosystems: the concept of critical loads. *Ambio*. 21(5): 364-368.
- Rytter, L. (1998) *Löv- och blandbestånd - ekologi och skötsel*. Uppsala: Skogforsk. Redogörelse nr 8.
- Rytter, L., Karlsson, A., Karlsson, M. & Bergquist, J. (2008) Skötsel av björk, al och asp. Skogsskötselserien del 2. [online] Tillgänglig: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien [2012-04-20]
- Skogforsk. Gallringsmall – tall och gran. [online] (2012-03-07) Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Alla-Verktyg/intro-Gallringsmall---tall-och-gran/Gallringsmall---tall-och-gran/> [2012-04-20]
- Skogforsk. Rekommenderade plantantal. [online] (2004-05-03) Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/KunskapDirekt/Templates/popup.aspx?id=11783> [2012-04-12]
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (eds.). (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. New York: IPCC
- Stener, L-G. (2007) *Utvärdering av sydsvenska avkommeförsök med klibbal*. Uppsala: Skogforsk. Arbetsrapport, 649.
- Södra, Prislister 069 2 M4. [online] Tillgänglig: [http://skog.sodra.com/Documents/PrislisterVO/1/069%20%20M4%20\(2\)%20Massaved.pdf](http://skog.sodra.com/Documents/PrislisterVO/1/069%20%20M4%20(2)%20Massaved.pdf) [2012-04-23]
- Tarrant, R.F. & Trappe, J.M. (1971) The role of alnus in improving the forest environment. *Plant and Soil*. Special Volume: 335-348.
- Valinger, E. & Fridman, J. (2011) Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*. 262: 398–403.
- Vedel, H., Dahl Møller, J. & Svedberg, U. (2002) *Skogens träd och buskar*. 9. omarbetad uppl. Stockholm: Bokförlaget Prisma

BILAGOR

Bilaga 1. Data som låg till grund för den fiktiva marken som simulerades i StandWise.

Appendix 1. Data which formed the basis for the fictional land that was simulated in StandWise.

Ståndortsfaktorer <i>Habitat factors</i>	Inställningar <i>Settings</i>	Anledning till inställning <i>Motivation to settings or source</i>
Jordartens textur <i>Texture</i>	Sandig-moig morän/grovmo <i>Sand-silt moraine</i>	I StandWise påverkas inte SI av de olika alternativen. <i>This setting does not affect the site index estimated by StandWise.</i>
Latitud <i>Latitude</i>	61	På en latitud där gran inte har sin högsta produktion men tillräckligt sydligt för att klibbalen ändå ska trivas. <i>A latitude at which spruce does not have its highest production, but southern enough for it to thrive.</i>
Altitud <i>Altitude</i>	0	För att klimatet inte ska vara den mest begränsande faktorn. <i>So that climate will not be the most limiting factor.</i>
Jorddjup <i>Soil depth</i>	Djup jord <i>Deep soil</i>	(Rytter, 1998)
Lutning <i>Slope</i>	0-10%	Svag lutning, eftersom båda trädslagen vill ha rörligt markvatten. <i>Gentle slope, because both species prefer moving ground water.</i>
Åldersspridning <i>Age distribution</i>	Helt likåldrigt <i>Similar aged</i>	För att kunna anlägga beståndet vid ett och samma tillfälle. <i>In order to plant both species at one time.</i>
Vegetationstyp <i>Vegetation type</i>	Blåbärstyp <i>Blueberry</i>	(Arnborg, 1964)
Bottenskikt <i>Ground layer</i>	Vitmosstyp <i>Sphagnum</i>	(Arnborg, 1964)
Markfuktighet <i>Soil moisture</i>	Frisk-fuktig <i>Mesic-moist</i>	(Rytter, 1998)

Bilaga 2. Registrerade träddata i StandWise.
Appendix 2. Registered tree data in StandWise.

Kandidat_klibbal_gran
3D-vy
Tabell
2D-vy
Registrera träddata

Bestånd (Treatment Unit)
Områdesnod: TR
Ny områdesnod...
Bestånd: 1
Nytt bestånd...
Ta bort bestånd...
Höjdkorrigerig...

Provytedata (Plot Data)
Provytennummer: 1
Ta bort provyta...

Ståndortsbeskrivning
Åtgärdshistorik

Provytennamn: 1
Breddgrad: 61
Torv
Typ av yta: Ungskog
Ystorielik (m2): 100
Höjd (m): 0
Delad yta
Åldersspridning: 1-Helt likåldrigt
Inventeringsår: 2012
Län: X-Gävle (Gävle)
Dikat
Klimatzon: Other
Medelålder (år): 2
Bon. trädslag: Gran
Vegetationsyp: I3-Bläbärstyp
Medelålder, typ: Total
SIS (m): 23
Bottenskiikt: 4-Vitnosstyp
Brösthöjd
Slope: 0-10 %
Markfuktighet: 3-Frisk-fuktig
Ostkoord. (m):
Slope dir: Other
Jordartens textur: Sandig-moig morän/g
Nordkoord (m):
Soil depth: 3-Måktigt (> 70 cm)
Rörliigt markvatten: 2-Långre perioder
Huggningsklass: A1 (kalmark)

Bilaga 3. Schema för ståndortsanpassning baserat på trädslagets krav på vatten- och näringstillgång. Ju mörkare färg desto mer ense är forskarna om att trädslaget kan leva där. Källa: Rytter, L. (1998)

Appendix 3. The darker the colour, the more consensus among researchers concerning at which sites the species thrive.

